



✓ Générateur récupérant l'énergie solaire dans l'espace.

Comment capter l'énergie VENUE DE L'ESPACE ?

Récupérée sur terre, l'énergie solaire demeure soumise aux aléas de la météo et au black-out... de la nuit. Saisie dans l'espace 24 heures sur 24 par des stations gigantesques et transmise sans perte vers le sol, elle pourrait prendre une tout autre dimension.

Face à des ressources primaires d'origine fossile limitées (pétrole, gaz, charbon), à des besoins croissants (doublement de la consommation d'électricité d'ici à 2050) et à des risques environnementaux majeurs (réchauffement climatique), le soleil constitue la plus durable des alternatives énergétiques actuellement disponibles. Quasi inépuisable (quatre à cinq milliards d'années de réserves...), cette source d'énergie connaît un développement très soutenu, à la mesure de ses avantages : 35 % de croissance annuelle en moyenne pour l'électricité solaire dans le monde depuis 1998. Pourtant, au-delà de cette « chronique d'un succès annoncé » qui ne cesse de s'amplifier, les scientifiques ont déjà imaginé les solutions qui permettront de s'affranchir un jour totalement des contraintes de captage terrestre de cette énergie – les conditions aléatoires d'ensoleillement – en allant là où les conditions sont optimales : dans l'espace.

“ Quatre à cinq milliards d'années de réserves. ”

Un concept né de la science-fiction

L'idée n'est pas nouvelle et la science-fiction s'en est emparée dès les premiers scénarios d'aventures interstellaires. Mais c'est le Dr Peter Glaser, un scientifique américain, qui a formalisé, en 1968, le concept du *space-based solar power* (SBSP), énergie solaire

d'origine spatiale : transférer plusieurs gigawatts d'énergie par micro-ondes de l'espace vers la terre à partir de satellites géostationnaires équipés de capteurs solaires. Un concept réévalué tous les dix ans par diverses institutions ou entreprises, principalement américaines, comme le Department of Energy/DoE, la NASA, Raytheon, Lockheed Martin, Boeing... Pourtant, malgré les moyens existants, jamais les solutions techniques envisagées n'ont trouvé d'amorce de concrétisation dans le cadre de programmes conjoints, faute d'une réelle volonté de coopération. Comme l'explique l'expert d'un *think tank* du Pentagone : « Le problème est que le DoE ne travaille pas pour l'espace, »



mot à mot

GÉOSTATIONNAIRE:

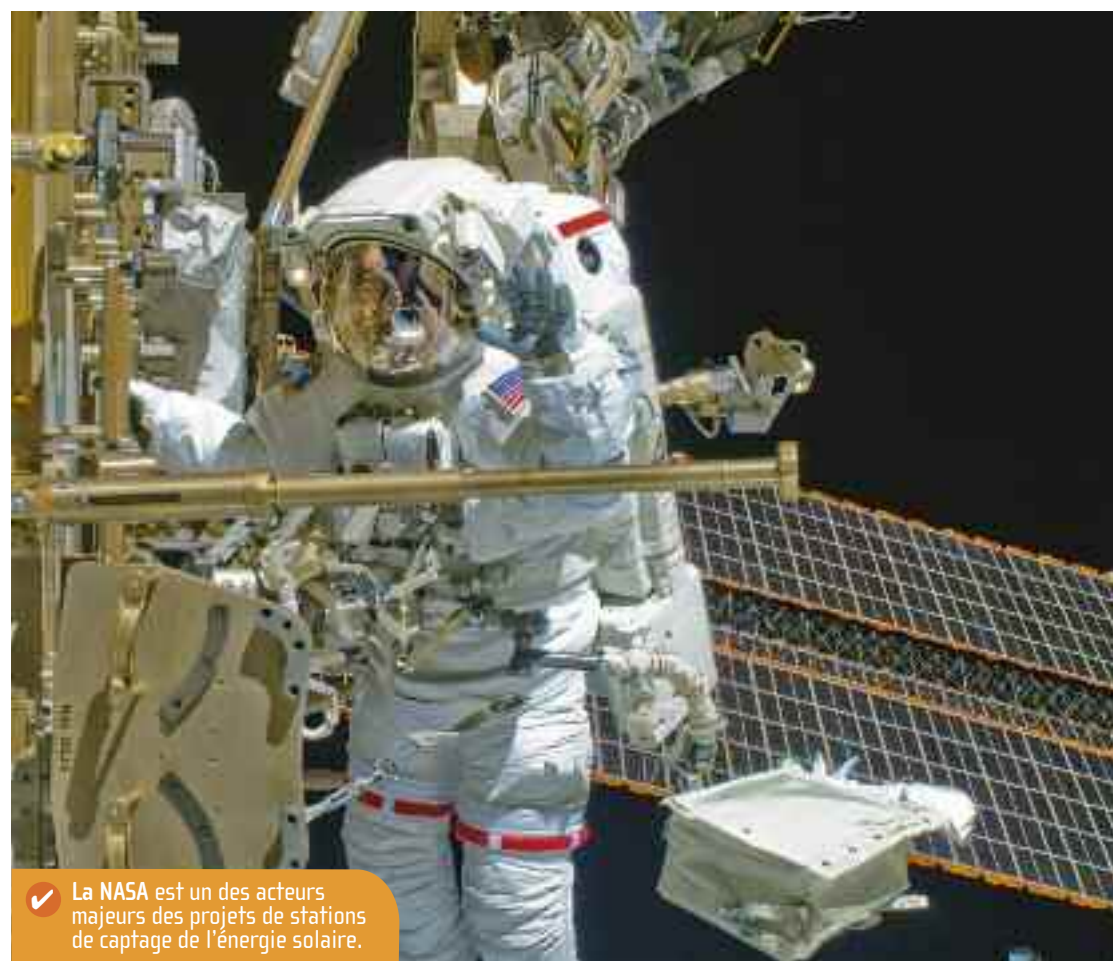
Une orbite géostationnaire se situe à 35 800 km du sol, dans un plan équatorial. Un engin spatial placé sur une telle orbite est considéré comme fixe par rapport à tout point de la terre dont il est visible. C'est le cas pour les satellites de télécommunication et de géolocalisation (GPS). À cette altitude, un capteur solaire est en permanence éclairé par le soleil et offre donc une capacité de production d'énergie ininterrompue.

► tandis que la NASA travaille pour l'espace mais pas pour l'énergie ! » Aujourd'hui cependant, c'est la coopération internationale qui paraît la plus à même d'assumer les financements nécessaires, et diverses sociétés à capitaux privés ont récemment été créées pour amorcer la levée de fonds et fédérer les compétences requises. Avec un objectif : concrétiser des solutions technologiques jugées matures et économiquement viables pour une mise en service commerciale vers 2030.

Une énergie durable à forte valeur ajoutée

Ce sont les progrès technologiques qui rendent le concept du Dr Glaser accessible à court terme. En quarante ans, les émetteurs d'ondes radio, mais aussi les lasers, ainsi que les matériaux photovoltaïques, ont fait d'importants progrès, tandis que la

conquête spatiale permet d'envisager le montage en orbite de stations de captage de l'énergie solaire de grande dimension. Moyennant diverses variantes, le principe et les avantages de telles stations sont désormais admis par la communauté scientifique internationale. L'énergie solaire captée dans l'espace pourrait être transmise vers le sol pour y produire une électricité de qualité, fiable et propre. Dispensée de la contrainte de stockage, puisque disponible 24 heures sur 24, 365 jours par an, cette électricité offrirait une alternative énergétique à forte valeur ajoutée pour les zones éloignées de toute source de production d'énergie primaire. L'option solaire en direct de l'espace devrait en effet susciter un fort intérêt dans de nombreux pays dont les besoins ou les infrastructures ne permettraient pas d'attendre que les options nucléaires et énergies renouvelables produisent leurs effets en suffisance pour satisfaire leurs besoins. Toutefois, compte tenu des coûts très élevés de mise en place des infrastructures spatiales et terrestres, il est vraisemblable qu'un financement international ainsi qu'un partage de l'énergie produite seront nécessaires. Enfin, avantage supplémentaire, le déploiement de zones de production d'électricité solaire provenant



La NASA est un des acteurs majeurs des projets de stations de captage de l'énergie solaire.

Des stations d'assemblages de panneaux aussi grandes que Manhattan!

De larges assemblages de panneaux photovoltaïques concentrent la lumière solaire réfléchie par des grappes de miroirs. Ils produisent de l'énergie électrique qu'un puissant émetteur à balayage électronique transmet vers la terre sous forme de rayons directionnels d'ondes radio. À près de 36 000 km d'altitude, l'espace disponible est tel qu'un projet dans les cartons de la NASA envisage des assemblages de la taille de Manhattan!

Au sol, une antenne de réception en forme de grille circulaire à larges mailles, connectée au réseau électrique, retransforme les ondes de radiofréquence en électricité. Située à l'écart des zones d'habitation, l'antenne pourra atteindre une superficie de 10 km², tout en laissant la possibilité d'utiliser la surface du sol placée en dessous pour des cultures. Le terme de « *rectenna* » [contraction de l'anglais « *rectifying antenna* »] a été créé pour qualifier les antennes de ce type qui, recevant des impulsions électromagnétiques, seront équipées d'un redresseur pour fournir du courant continu au réseau de transport à haute tension. L'efficacité du dispositif permet d'obtenir une puissance de 5 kW/m², soit une puissance près de six à huit fois supérieure aux installations photovoltaïques terrestres les plus performantes situées à moyenne latitude.

de l'espace permettra, par exemple, à des pays en développement de gagner sur plusieurs tableaux à la fois. En se passant du recours aux sources d'énergies fossiles polluantes et onéreuses (coût des infrastructures d'extraction et d'exploitation), ils pourront améliorer de manière spectaculaire, rapide et à grande échelle, le confort de vie de leurs populations grâce à la généralisation de l'électrification. Celle-ci entraînant très logiquement le développement de l'irrigation, la fourniture d'énergie pour les écoles et les hôpitaux, l'amélioration des conditions d'hygiène (épuration des eaux), une meilleure conservation des réserves alimentaires, etc.

Une gamme de fréquences proche des systèmes domestiques

Des deux technologies retenues pour transmettre l'énergie de l'espace vers le sol, chacune possède ses propres avantages et inconvénients, les premiers l'emportant

largement sur les seconds dans la mesure où toutes deux permettent d'envoyer de fortes puissances sur de très grandes distances avec une faible déperdition.

Produites par une combinaison de miroirs et de panneaux photovoltaïques, les micro-ondes envoyées de l'espace vers la terre se situeront dans une gamme de fréquences de 2 à 8 GHz (plusieurs projets se fixent sur 5,8 GHz), soit l'équivalent des fréquences

À SAVOIR

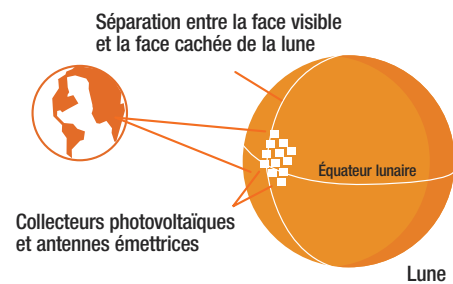
Le système de collecte spatiale de l'énergie solaire est constitué du segment spatial proprement dit (les infrastructures spatiales : satellite, miroirs, panneaux solaires, etc.), du procédé de transport (micro-ondes ou laser) et du segment sol (l'antenne de réception).

Quels effets sur l'environnement?

À 5,8 GHz, les micro-ondes provenant de l'espace se situeront dans la gamme des fréquences de la radio FM ou de la télévision hertzienne. Elles ne sont pas susceptibles de modifier la structure moléculaire des corps vivants, à la différence de l'ultraviolet, des rayons X et gamma, qui peuvent endommager la structure de l'ADN des cellules. Elles se contentent « d'exciter » les électrons des cellules et de provoquer un réchauffement local des tissus. Au centre d'une « *rectenna* », là où l'énergie reçue sera la plus intense, la puissance mesurée sera de l'ordre de 30 mW/cm², à comparer aux 1 000 mW/cm² relevés à proximité d'un four à micro-ondes, soit 3 % de la puissance émise dans la plupart de nos cuisines. Leur densité de puissance sera par ailleurs près de cinq fois inférieure au rayonnement solaire. Tout laisse donc à penser que leur impact sur l'environnement humain, autant que sur le réchauffement climatique, sera négligeable.

En altitude, les rayons devraient perdre quelque 2 % de leur puissance en pénétrant dans l'atmosphère, mais il a été démontré que cette puissance dissipée sera sans effet sur la couche d'ozone de la troposphère. À basse altitude, tout juste les formations d'oiseaux seraient-elles susceptibles de ressentir un faible « stress calorifique ». Mais des études ont déjà mis en évidence la capacité de la plupart des espèces à détecter et à éviter les zones émettrices de micro-ondes.

ces systèmes domestiques (Internet, télévision, fours à micro-ondes, téléphones portables, etc.). Le concept est très efficace (pas plus de 2 % de déperdition d'énergie) et il est en outre exempt de risques pour la santé. Plus récemment développée, la transmission par rayon laser de l'énergie solaire captée est également très prometteuse. Ici, pas de panneaux photovoltaïques satellisés, mais des tuiles en céramique spéciales (à base de chrome et de neodymium) recouvrant le satellite qui agissent comme des diodes de forte puissance pour transmettre l'énergie solaire vers un amplificateur laser. Celui-ci émet vers la terre un rayon laser ciblé sur un panneau photovoltaïque qui est alors en mesure de produire de l'électricité.



est toujours éclairé par le soleil), envoient un faisceau de micro-ondes vers la terre. Mais l'émission des ondes radio n'est possible que si la lune est en ligne directe avec la station terrestre de réception. Lorsque ce ne sera pas le cas, des collecteurs en orbite lunaire ou terrestre devraient être en mesure d'assurer le relais. ■

Des collecteurs pourraient être installés... sur la lune

Enfin, à quelque 300 000 km de distance – et surtout à beaucoup plus long terme –, il faut mentionner les projets... lunaires. Cette ambition fait partie des programmes étudiés dans le cadre d'une réactivation des missions humaines vers notre satellite naturel. Des collecteurs photovoltaïques (produits à partir de matériaux lunaires), installés sur des bases fixes positionnées sur les deux quartiers de la face visible de l'astre (l'un ou l'autre

► Pour en savoir plus

- Space Energy (société américaine privée pour le développement du solaire spatial): www.spaceenergy.com
- National Space Society: www.nss.org/settlement/ssp/
- Site de la NASA: <http://nasascience.nasa.gov/>
- Site de l'ESA: <http://www.esa.int/esaCP/France.html>
- Site de la Japan Aerospace Exploration Agency: http://www.jaxa.jp/index_e.html
- Animation vidéo: *Space-Based Solar Power* (Mafic Studios) www.youtube.com/watch?v=BoxXIF9mepU